

## 선삭 가공 사이클 단축 시뮬레이션

김선호<sup>\*#</sup>, 조행득<sup>\*\*</sup>, 김태호<sup>\*\*\*</sup>

\*동의대학교 메카트로닉스공학과, \*\*현대자동차 포항서비스센터, \*\*\*티엔에스머시닝

### Cycle Reduction Simulation for Turning Process

Sun-Ho Kim<sup>\*#</sup>, Hang-Deuk Cho<sup>\*\*</sup> and Tae-Ho Kim<sup>\*\*\*</sup>

\* Dept. of Mechatronics Engineering, Dong-Eui University, \*\*Hyundai Motors Co., Ltd.,  
\*\*\*TNS Machining Ltd.

(Received 5 January 2015; received in revised form 24 January 2015; accepted 28 January 2015)

#### ABSTRACT

Productivity of machining using machine tools is affected by cutting conditions such as cutting speed, feedrate and depth. However, undesirable conditions that lengthen the machining cycle and shorten the tool life occur frequently because determination of cutting condition is known to depend on human experience. This paper presents a method of cycle reduction by removing undesirable conditions. For cycle reduction, maximum cutting load is determined using commercial FEM simulation code. The feedrate in the NC program is altered based on a predetermined cutting load value. To make a decision on the proposed effectiveness, a simulation is performed for the brake hub parts of an automobile. From the evaluation, it was found that the cycle reduction was under 15%.

**Key Words** : Turning(선삭), Cutting Force(절삭력), Cycle Reduction Simulation(사이클 단축 시뮬레이션)

#### 1. 서 론

기계부품의 제작공정에서 절삭가공법은 비용측면에서 가장 경제적이고 품질측면에서는 요구 정밀도를 확보하기가 용이하기 때문에 가장 효율적인 기계가공법으로 알려져 있다. 하지만, 절삭가공의 생산성은 절삭조건의 영향을 크게 받는다. 절삭속도, 이송속도, 절삭깊이로 대표되는 절삭조건은 공작물의 강도와 공구형상에 가장 큰 영향을 받는다. 그 외에도 공작기계나 고정구의 강성도와 감쇄도 뿐 아니라 절삭유와 절삭온도 등도 고려해야 할 대상이다.

하지만, 대부분의 경우 절삭조건 설정 작업을 경험에 의존하고 있는 실정이다. 일반적인 가공이 야 큰 문제가 발생할 가능성이 적지만, 새로운 소재가 사용되는 부품을 개발하거나 복잡한 형상이 필요한 가공의 경우에는 소극적인 접근으로 인해 가공 사이클이 길어진다든지 공구수명이 짧아지는 등의 낭비적인 요소들이 발생하고 있다.<sup>[1,2]</sup>

본 연구에서는 이러한 낭비적인 요소들의 제거를 통해 선삭 사이클을 단축하고자 했다. 사이클을 단축하기 위한 방법으로는 공구 메이커에서 제공하는 공구의 형상정보와 추천 절삭조건을 이용하여 해석적으로 최대 절삭부하를 구한다. 해석을 통해 구한 최대 절삭부하를 바탕으로 기존 절삭부하를 설정하고 이에 적합하도록 NC 프로그램의

# Corresponding Author : sunhokim@deu.ac.kr  
Tel: +82-51-890-2259, Fax: +82-505-182-6821

이송속도를 변경하는 기술을 적용했다. 최대 절삭 부하를 예측하기 위해서는 AdvantEdge FEM 모듈을 사용했고 이송속도를 변경하기 위해서는 AdvantEdge Production 모듈을 사용했다.<sup>[3,4]</sup>

## 2. 대상 모델의 공정분석

본 연구에서는 자동차 브레이크 허브 부품을 대상으로 했다. Fig. 1에 대상 부품의 사진을 나타냈다. Fig. 1(a)는 단조가공을 마친 브레이크 허브 블랭크를 보여 주고 있으며 Fig. 1(b)는 가공이 완료된 제품을 보여 준다. 일반적으로 선삭공정은 #10 공정과 #20 공정으로 이루어진 두 개의 공정으로 구분한다. #10 공정은 선반의 척을 이용해 한 쪽 단조면을 클램핑 한 상태에서 다른 쪽 단조면을 가공한다. #20 공정에서는 #10 공정에서 절삭가공

된 면을 클램핑 한 상태에서 다른 쪽 단조 면을 가공한다.

본 연구에서 대상으로 한 부품의 #10 공정에서는 5개의 공구를 이용해 황삭과 정삭 챔퍼 가공이 이루어지고, #20 공정에서는 5개의 공구를 이용해 황삭 정삭 그리고 나사가공 이루어진다. #10 공정에서 사용되는 절삭공구는 아래와 같다. 모델명 WNMG080416PCTT8115에는 공구형상, 여유각, 경사각 등의 형상정보와 절삭속도, 이송속도, 절삭깊이와 같은 추천 절삭조건 정보가 메이커로부터 제공된다. 상기 인서트는 형상은 80°의 삼각형이며 여유각은 0°, 경사각은 6°이고 추천 절삭조건은 이송속도 0.2~0.5mm/rev., 절삭깊이 0.8~4.0mm 그리고 최대 절삭속도는 340 mm/min.이다.



(a) Brake hub blank



(b) Machined brake hub

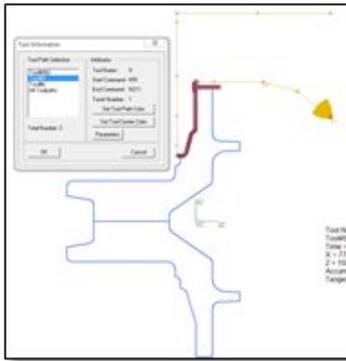
Fig. 1 Brake hub parts

WNMG080416PCTT8115(9번) 황삭  
WNMG080416PCTT8115(6번 공구) 챔퍼  
WNMG080416PCTT8115(8번 공구) 황삭  
TNMG160412FCTT8115(10번 공구) 정삭  
WNMG080412-ASWT9115(5번 공구) 챔퍼

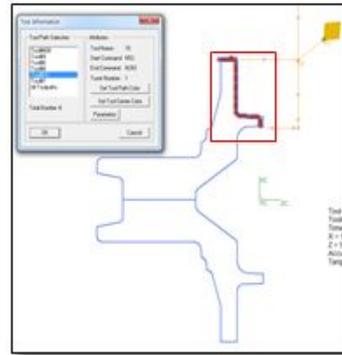
#20 공정에서 사용되는 절삭공구는 아래와 같다.

WNMG080416-PCTT8115(10번 공구) 황삭  
XCMT130408TC-TT8020(1번 공구) 황삭  
DNMG150408-ZMT9115(2번 공구) 정삭  
CCMT09T308MTT8125(3번 공구) 정삭  
R166.0G-16UN01-1601020(4번 공구) 나사

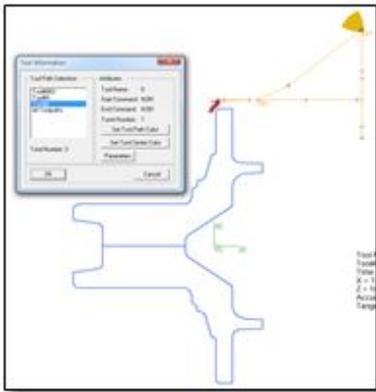
절삭조건 최적화를 위해서는 우선 NC 프로그램을 이용해 공구궤적 시뮬레이션을 수행한다. Fig. 2는 #10 공정에 대한 공구궤적 시뮬레이션을 나타내고, Fig. 3은 #20 공정에 대한 공구궤적 시뮬레이션을 나타낸다.



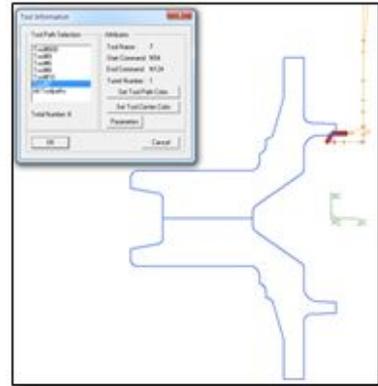
(a) Tool number 9



(d) Tool number 10

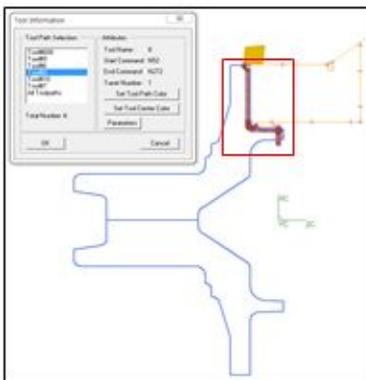


(b) Tool number 6

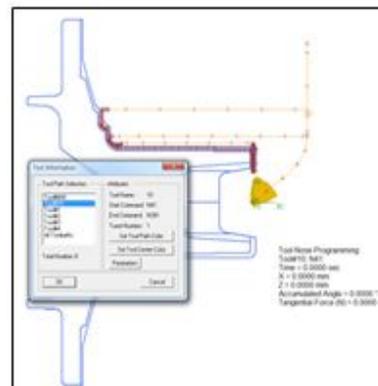


(e) Tool number 5

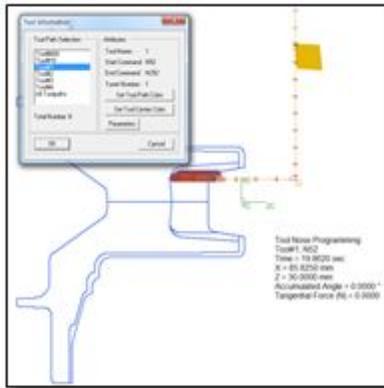
Fig. 2 Tool path simulation for #10 process



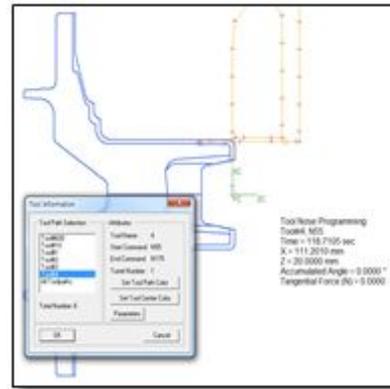
(c) Tool number 8



(a) Tool number 10

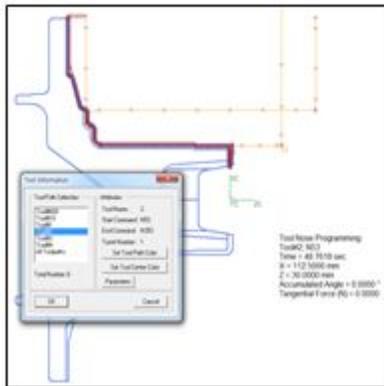


(b) Tool number 1

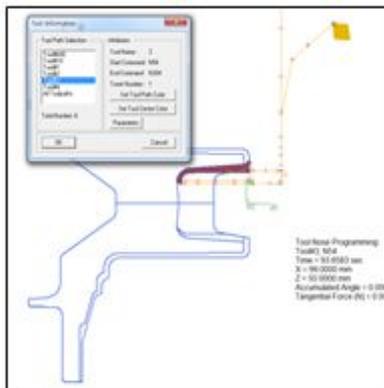


(e) Tool number 4

Fig. 3 Tool path simulation for #20 process



(c) Tool number 2



(d) Tool number 3

### 3. 절삭부하 시뮬레이션

절삭부하 시뮬레이션 절차를 Fig. 4에 나타내었다. 사용된 공구의 인서트에 대한 정보는 공구 메이커를 통해 얻을 수 있다. 형상정보는 인서트 형상, 여유각, 경사각 등이다. 가령 #10 공정 9번 공구로 사용된 WNMG080416PCTT8115 인서트는 제작사의 브로슈어를 통해 사용 가능한 절삭속도, 이송속도 그리고 절삭깊이와 같은 추천 절삭조건을 얻을 수 있다. 예를 들면 다음과 같다.

F 0.2~0.5 mm/rev.

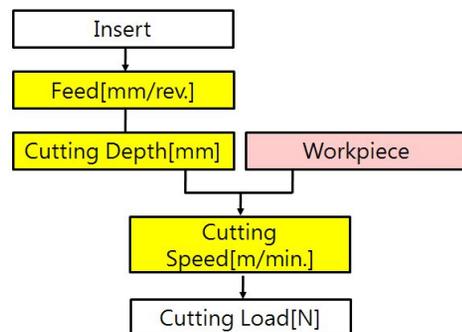


Fig. 4 Process for cutting load simulation

D 0.8~4.0 mm  
V 340 mm/min.

인서트의 형상정보와 절삭조건을 부여하고 공작물의 강도를 입력하면 AdvantEdge FEM 모듈을 통해 최대 절삭부하를 구할 수 있다.

공구궤적 시뮬레이션 결과를 바탕으로 NC 프로그램을 이용해 공구 별로 최대 절삭부하를 해석한다. Fig. 5는 절삭부하 해석 시뮬레이션 결과를 나타낸다. WNMG080416PCTT8115(#10 공정 9, 6, 8번 공구, #20 공정 10번 공구)의 경우 최대 절삭부하는 4341 N으로 해석되었다.

Fig. 6은 시뮬레이션을 통해 구한 최대 절삭부하를 바탕으로 절삭깊이, 절삭속도를 고려하여 역순으로 최적 이송속도를 구하는 절차를 보여준다.

본 연구에서 #10 공정은 가공형상의 특성을 고려하여 #10-1 공정과 #10-2 공정으로 구분하여 분석했다.



Fig. 5 Simulation for cutting load

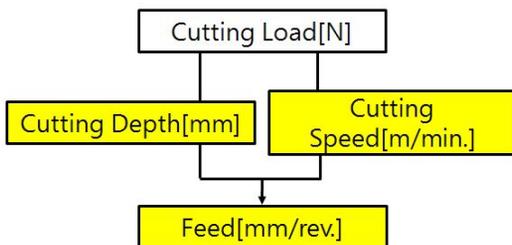


Fig. 6 Process for feed simulation

#10-1 공정의 최대 절삭부하는 4341 N으로 해석되었지만, 가공 최적화 기준 절삭부하는 최대 절삭부하의 50% 정도인 2000 N으로 설정했다.

최적화를 전의 NC 프로그램 일부를 아래에 나타냈다.

T0902  
M71T9  
G0G96X208.Z50.S200M4  
Z2.  
G1Z-0.7F0.6  
X193.F0.35  
G0W-1.X199.8  
G1W20.F0.4  
G0U2.Z2.3  
G1X199.8F0.35  
X194.6Z-0.15  
X135.2F0.4  
G2X133.4Z-2.R2.F0.35  
G1Z-2.8  
X101.812Z-7.085F0.35  
G2X97.3Z-9.977R3.1F0.3  
G1W-4.F0.35  
G0X310.  
G0G40Z100.  
M1  
N0M53  
G40M8  
G50S1300  
T0605  
M71T6  
.....

기준 절삭부하를 반영하여 최적화한 NC 프로그램은 다음에 나타냈다. 기준 절삭부하를 반영하기 위해 이송속도가 세분화되었음을 알 수 있다.

T0902  
M71T9  
G0G96X208.Z50.S280M4  
Z2.

G1Z-0.7 F1.  
 X204.5  
 X202.4 F0.5  
 X198.9  
 X193.  
 G0W-1.X199.8  
 G1W20.F0.4  
 G0U2.Z2.3  
 G1X199.8 F0.5  
 X195.2149 Z0.1397  
 X194.6 Z-0.15 F0.35  
 X193. F0.5  
 X148.2  
 X145.8 F0.4486  
 X144.2 F0.4  
 X143.4 F0.3788  
 X142.6 F0.3599  
 X141.8 F0.3428  
 X141. F0.3272  
 X140.2 F0.3129  
 X139.4 F0.2997  
 X138.6 F0.2879  
 X137.8 F0.2763  
 X137. F0.2662  
 X136.2 F0.2565  
 X135.2 F0.2453  
 G2X133.4Z-2.R2. F0.424  
 G1Z-2.35 F0.35  
 Z-2.8 F0.5  
 X105.0257 Z-6.6491  
 X102.999 Z-6.924 F0.3548  
 X101.812 Z-7.085 F0.2851  
 G2X97.3Z-9.977R3.1 F0.2722  
 G1W-4.F0.35  
 G0X310.  
 G0G40Z100.  
 M1  
 N0M53  
 G40M8  
 G50S1300  
 T0605

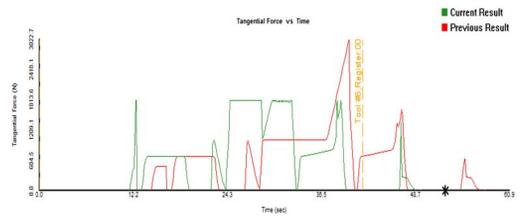
M71T6

.....

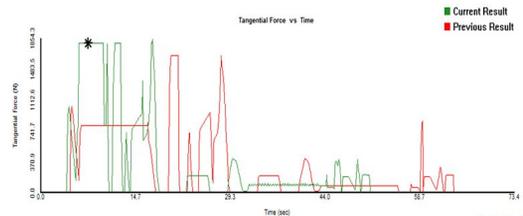
#10-1 공정은 기준 절삭부하를 2000 N으로 설정하고 시뮬레이션을 수행한 결과, 최적화 전 55.2초의 가공시간이 최적화 후 46.8초로 감소되었다. 시뮬레이션 결과를 Fig. 7(a)에 나타내었다.

#10-2 공정은 기준 절삭부하를 2000 N으로 설정하고 시뮬레이션을 수행한 결과, 최적화 전 73.4초의 가공시간이 최적화 후 60.4초로 감소되었다. 시뮬레이션 결과를 Fig. 7(b)에 나타내었다.

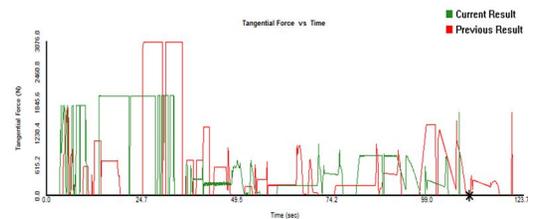
#20 공정은 기준 절삭부하를 2000 N으로 설정하고 시뮬레이션을 수행한 결과, 최적화 전 125.0초의 가공시간이 최적화 후 110.0초로 감소되었다. 시뮬레이션 결과를 Fig. 7(c)에 나타내었다. 이



(a) Cycle reduction simulation for #10-1 process



(b) Cycle reduction simulation for #10-2 process



(c) Cycle reduction simulation for #20 process

Fig. 7 Simulation for cycle optimization

러한 결과를 Table 1에 나타내었다. #10 공정은 최적화 전 가공시간이 128.6초에서 107.2초로 단축되어 단축률이 16.7%로 평가되었다. #20 공정은 최적화 전 가공시간이 125.0초에서 110.0초로 단축되어 단축률이 12.0%로 평가되었다.

**Table 1 Cycle time reduction by simulation**

Process	Before optimization	After optimization	Reduction
#10	128.6 sec.	107.2 sec.	16.7%
#20	125.0 sec.	110.0 sec.	12.0%

#### 4. 결과 분석

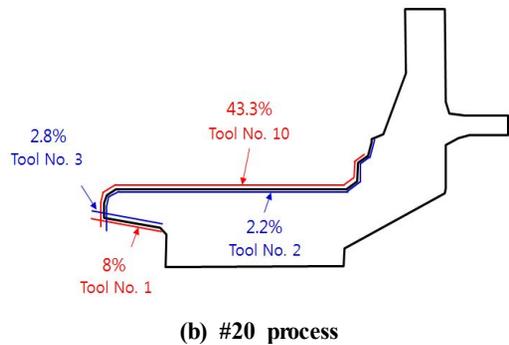
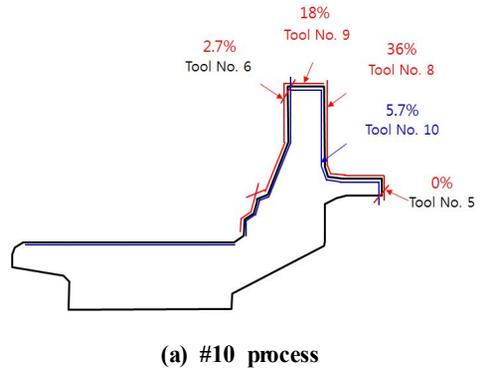
#10 공정은 9번 공구 황삭, 6번 공구 챔퍼, 8번 공구 황삭, 10번 공구 정삭, 5번 공구 챔퍼 등 5개의 공구를 이용해서 가공이 이루어진다. 공구별 단축률은 9번 공구 18%, 6번 공구 2.7%, 8번 공구 36%, 10번 공구 5.7%, 5번 공구 0%로 나타났다. 즉, 대부분의 단축은 황삭공정에서 이루어졌음을 알 수 있다. 이것은 황삭공정 후 정삭공정은 절삭깊이가 일정하기 때문에 절삭부하 가능성이 적기 때문에 생기는 자연스러운 결과로 판단된다.

#20 공정은 10번 공구 황삭, 1번 공구 황삭, 2번 공구 정삭, 3번 공구 정삭, 4번 공구 나사 등 5개의 공구를 이용해서 가공이 이루어진다. 10번 공구 43.3%, 1번 공구 8%, 2번 공구 2.2%, 3번 공구 2.8% 증가로 나타났다. #20 공정의 경우에도 대부분의 단축은 황삭공정에서 이루어졌음을 알 수 있다. 분석 결과를 Fig. 8에 나타내었다.

시뮬레이션을 통해 최적화된 NC 프로그램을 이용해 가공실험을 한 결과를 Table 2에 나타냈다. 시뮬레이션과 가공실험 결과와의 차이는 가공대기 시간, 터렛 회전속도, 급속 이송속도의 차이에 기인하는 것으로 판단된다.

**Table 2 Cycle time reduction by machining**

Process	Before optimization	After optimization	Reduction
#10	124.0 sec.	97.0 sec.	21.7%
#20	133.0 sec.	123.0 sec.	7.5%



**Fig. 8 Cycle reduction detailed process**

#### 5. 결론

절삭가공의 생산성은 절삭속도, 이송속도, 절삭깊이로 대표되는 절삭조건에 영향을 크게 받는다. 하지만, 대부분의 경우 절삭조건 설정을 경험에 의존하고 있어 가공 사이클이 길어진다는지 공구수명이 짧아지는 등의 낭비적인 요소들이 발생하고 있다. 본 연구에서는 이러한 낭비적인 요소들의 제거를 통해 선삭 사이클을 단축하고자 했다. 사이클을 단축하기 위한 방법으로는 해석을 통해 최대 절삭부하를 구하고 이를 바탕으로 기준 절삭부하를 설정하고 이에 적합하도록 NC 프로그램의 이송속도를 변경하는 기술을 적용했다. 제안된 기술의 유효성을 판단하기 위해 자동차 브레이크 허브 부품을 대상으로 연구를 수행했다. 적용 결과 가공시간 측면에서는 15% 내외의 가

공시간 단축이 가능했다.

## 후 기

이 논문은 2014학년도 동의대학교 교내연구비에 의해 연구되었음(2014AA470)

## REFERENCES

1. Lee, S. Y. and Im, Y. M., "Prediction and Experiments of Cutting Force in End Milling," Journal of the Korean Society of Machine Tools Engineers, Vol. 13, No. 4, pp. 9-15, 2014.
2. Kim, S. Y., Jo, M. J., Ahn, K. W. and Jeon, E. C., "Study on Productivity Improvement in the Mold Machining using Cutting Force Analysis Program," Proceeding of KSMPE Fall Conference, pp. 71-72, 2010.
3. <http://www.thirdwavesys.com>
4. Kim, S. K., "FEM Analysis of Turning Multi-layer Metal," Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers, Vol. 10, No. 4, pp. 57-63, 2011.